"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGE بای‌پلات

Evaluation of genotype × environment interaction on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method

فاطمه شیخ[۱]، حسین آسترکی[۲]، خالد میری[۳] و رضا سخاوت[۴]

چکیده

شیخ، ف.، ح. آسترکی، خ. میری، و ر. سخاوت. ۱۴۰۳. ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش GGEبای‌پلات. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۱): ۷۰ -۵۵.**

این پژوهش به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش باقلا، ۱۱ لاین امید بخش همراه با چهار رقم فیض، شادان، مهتا و برکت (شاهد)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی (گرگان، دزفول، بروجرد و ایرانشهر) به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۷) انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب با سهم ۶۰/۰۷، ۱۹/۸ و ۲۰/۰۷ درصد از تنوع کل عملکرد دانه، معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول (ژنوتیپ) و دوم (برهمکنش ژنوتیپ و محیط) در مجموع ۷۶/۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. بر اساس نمودار چند ضلعی، دو محیط کلان و ژنوتیپ‌های سازگار برای هر محیط شناسایی شدند. براساس نزدیکی به مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G1، G3، G4 و G14 دارای پایداری عمومی بالا شناخته شدند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل GEI و GGE بای‌پلات، محیط گرگان در هر دو سال آزمایش از قدرت تفکیک بالایی برخوردار بود و به‌عنوان مکان مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا شناخته شد. بر اساس نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ G6 (Barkat×New mammoth) در همه محیط‌ها از لحاظ عملکرد و پایداری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. ژنوتیپ‌های G10 (HBP/SOE/99)، G9 (ILB1266)، G2 (Barkat×ILB 5284) و G4 (Barkat×Giza Blanka)، علاوه بر پایداری عملکرد، دارای عملکرد دانه بالاتر از ارقام شاهد بودند و بنابراین برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و در ادامه برای توسعه کشت باقلا در مناطق هدف مناسب شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، پایداری عملکرد، ژنوتیپ مطلوب و محیط کلان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی ۹۷۱۲۵۱- ۲۸۱-۰۳-۵۷-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
(مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: sheikhfatemeh@yahoo.com)
۲- محقق بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران
۴- مربی پژوهشی بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

Evaluation of genotype × environment interaction on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method

Sheikh, F.[1], Asteraki, H.[2], Miri, Kh.[3] and Sekhavat, R.[4]

ABSTRACT

Sheikh, F., Asteraki, H., Miri, Kh. and Sekhavat, R. 2025. Interaction of genotype × environment on seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot method**. Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 55-70. (In Persian).**

Introduction: Faba bean (*Vicia faba* L.) is a cool-season and annual seed legume crop used as an important cheap plant protein source for human food (green or dried, fresh or canned) and livestock feed. It is a very valuable legume crop that contributes to the sustainability of cropping systems with ability of biological nitrogen fixation. The aim of this study was to determine genotype × environment interaction on seed yield and to identify high yielding with yield stability of faba bean genotypes adapted to target environments.
Materials and Methods: Seed yield and yield stability as well as adaptability of 15 faba bean promising lines were evaluated using randomized complete block design with three replications in four agricultural research field stations of Gorgan, Dezful, Brojerd and Iranshahr in Iran in 2018-19 and 2019-20 cropping seasons. Plant height and branch number.plant^{-1} in each plot was measured before harvesting. Plots were harvested by hand at harvest maturity stage and seed number.pod^{-1}, number of pod.plant^{-1}, hundred seed weight and seed yield were measured. Data were analyzed using SAS software and the means were compared using LSD test. GGE-Biplot was used to analyse genotype × environment interaction and yield stability of faba bean genotypes.
Results: Combined analysis of variance showed that environment, genotype and genotype × environment interaction (GEI) were significant with contribution 60.07%, 19.8% and 20.07% to the total variation of seed yield, respectively. Yiled stability 15 faba bean genotypes was stdied using GGE biplot method across eight environments. GGE biplot analysis using a genotype × environment interaction (GEI) model explained 76.5% of the total variation. GGE biplot components PC1 and PC2 explained 58.7% and 17.8% of the total variation, respectively. The GGE biplot analysis of the tested environments and genotypes revealed that the eight test environments comprised two mega environments and the adapted genotypes were determined for each mega-environment. In Gorgan, G10, G12, G13 and G3 genotypes were adapted, and in the second mega-environment, G6 genotype was adapted. The genotypes G6, G10, G7 and G9 with average seed yield of 2905, 2715, 2607 and 2552 kg.ha^{-1} had higher seed yield and yield stability, respectively. Based on GEI and GGE biplot analysis, Gorgan experimental environments had good discrimination ability. The polygon view of biplot indicated genotypes; G1, G3, G4 and G14 were adapted to the tested environments according to the closest distance from biplot origin. The simultaneous study of the effect of genotype and GE interaction by average tester coordinate view of Biplot illustrated that genotypes; G6, G10, G7, G9 and G4, in addition to high seed yield had also higher yield stability compared with other genotypes. Ideal genotype view of Biplot indicated that G6 and G10 were the closest genotypes to the ideal genotype and identified as the most desirable genotypes.
Conclusion: Based on the GGE biplot analyses, the G6 (Barkat × New mammoth) genotype with high seed yield and yield satbilty across all environments. Also G9 (ILB1266), G2 (Barkat × ILB 5284) and G4 (Barkat × Giza Blanka) genotypes had significantly higher seed yield and yield stability compared to control cv. Barakat (G11), G12 (Feyz), G13 (Shadan) and G14 (Mahta).

Key words: Faba bean, Ideal genotype, Mega environment, Yield stability

Received: February, 2024 **Accepted: April, 2024**

1. Associate Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran (Corresponding author) (Email: sheikhfatemeh@yahoo.com)
2. Researcher, Seed and Plant Improvement Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Brojerd, Iran
3. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Research Department, Baluchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranshahr, Iran
4. Research Coach, Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

مقدمه

گیاهان حبوباتی یک منبع پایدار در تغذیه انسان‌ها محسوب شده و به طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شوند. باقلا (*Vicia faba* L.) در بین حبوبات بعد از سویا (*Glycine max* L.) و نخود (*Pisum sativum* L.) از لحاظ اهمیت و ارزش غذایی رتبه سوم را دارد (Bangar and Kajla, 2022; Minguez and Rubiales, 2021). باقلا منبع خوبی از پروتئین‌های غنی از اسید آمینه لیزین، مواد معدنی، ویتامین‌ها و بسیاری از ترکیبات فعال زیستی، به‌ویژه لوودوپا (L-dopa) (پیش‌ساز دوپامین)، است. باقلا از لحاظ میزان تثبیت زیستی نیتروژن نسبت به سایر حبوبات برتری داشته و ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، باعث صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. در شرایط تداوم کشت غلات که باعث افزایش جمعیت نماتدهای خاک می‌شود، قراردادن باقلا در تناوب، باعث کاهش جمعیت نماتدها خواهد شد (Bangar and Kajla, 2022; Xiao *et al*., 2021). باقلا در ۶۶ کشور جهان کشت می شود و به دلیل سازگاری، تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی مقبولیت جهانی دارد. باقلا منبع تامین غذا و پروتئین برای جمعیت انسانی ساکن در آسیا و آفریقا و خوراک دام، طیور، کود سبز در اروپا محسوب می‌شود. سطح زیرکشت جهانی باقلا دو میلیون و ۴۶۴ هزار هکتار و تولید آن ۴/۸ میلیون تن است. میانگین عملکرد دانه باقلا از یک تن در هکتار در سال ۲۰۰۳ به ۱/۹ تن در هکتار در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است (Bangar and Kajla, 2022). افزایش عملکرد به دلیل اصلاح ارقام متحمل به تنش‌های غیرزیستی و زیستی بوده است (Minguez and Rubiales, 2021). سطح زیر کشت باقلا در ایران حدود ۳۵ هزار هکتار است و با معرفی رقم اصلاح شده جدید فیض و ارقام دو منظوره و قابل برداشت ماشینی مهتا و شادان، سطح زیرکشت آن رو به افزایش است. استان‌های لرستان، گلستان، خوزستان، سیستان و بلوچستان، مازندران، زنجان و اصفهان به ترتیب با ۵۰۰۰، ۳۰۰۰، ۲۹۰۰، ۲۵۰۰ ، ۲۲۰۰ و ۱۹۰۰ هکتار بیشترین سطح زیر کشت باقلا در کشور را دارند (Sheikh *et al*., 2022b).

عملکرد نهایی هر ژنوتیپ از طریق ظرفیت بالقوه (پتانسیل) آن، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط تعیین می‌شود (Yan and Kang, 2003)، بر همین اساس در تعیین پایداری عملکرد، برهمکنش ژنوتیپ و محیط باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به تغییرات خصوصیات مورفولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف، مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط باقلا جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار حائز اهمیت است (Temesgen *et al*., 2015; Tadele *et al*., 2020). روش‌های تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها به دو گروه عمده پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پارامتری شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره هستند، روش‌های چندمتغیره ماهیت متغیر و پیچیده برهمکنش را نشان می‌دهند و به همین دلیل از اعتبار بیشتری برخوردار هستند (Ehyaei *et al*., 2022). در بین روش‌های چندمتغیره، روش‌های AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) و GGE بای‌پلات اهمیت ویژه‌ای دارند (Yan and Kang, 2003; Sheikh *et al*., 2022a). مقایسه روش‌های GGE بای‌پلات و AMMI برای ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری نشان داده است که روشGGE بای‌پلات کارآمدتر بوده و اطلاعات بیشتری به محققان ارائه می‌کند (Singh *et al*., 2019; Arif *et al*., 2021; Enyew *et al*., 2021; Greveniotis *et al*., 2023). سهولت و دقت در تجزیه‌ها و سادگی در تفسیر خروجی‌ها مهم‌ترین مزایای روش GGEبای‌پلات است (Yan, 2016). این روش نوعی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برای اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که نمودارهای گرافیکی ترسیمی، تصویری از روابط بین ژنوتیپ، محیط و برهمکنش آنها را ارائه می‌کند. نمودار بای‌پلات به‌طور همزمان اطلاعات

مربوط بـه اثـر اصـلی ژنوتیـپ و بـرهمکنش ژنوتیـپ و محـیط را در اختیـار قـرار می‌دهـد. نسـخه‌های متنـوعی از بای‌پلات بـر اسـاس روش‌هـای آمـاری چنـد متغیـره معرفـی و توسـط بـه نژادگـران گیـاهی بـه‌منظور تجزیـه گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ و محیط استفاده شده‌است (Yan *et al.*, 2000). اسـتفاده از روش GGE بـای‌پلات بـرای گـزینش ارقـام برتـر کنجـد (Azon *et al.*, 2023)، سـورگوم (Enyew *et al.*, 2021)، گنـدم نـان (Singh *et al.*, 2019; Ehyaei *et al.*, 2022)، گنـدم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2023)، بـادام زمینـی (Ghaffar *et al.*, 2023)، عـدس (Khan *et al.*, 2021)، لوبیـا (Rezene, 2019)، نخـود فرنگـی (Tolessa *et al.*, 2013) و بـاقلا (Sheikh *et al.*, 2021a; Greveniotis *et al.*, 2023) گـزارش شده‌است. همچنـین از ایـن روش جهت شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول گندم در تـاریخ کاشـت‌های مختلـف نیـز اسـتفاده شده‌اسـت (Saeidnia *et al.*, 2023).

با توجـه بـه تنـوع اقلیمـی و تغییـرات شـرایط آب و هوایی، اجرای پژوهش‌هـای بـه‌نژادی، معرفـی و توسـعه ژنوتیپ‌های پایدار و متحمل نسبت به تنش‌هـای زیسـتی برای مناطق مختلف کشور از اهمیـت بـالایی برخـوردار است. هدف از این تحقیق شناسایی محیط هـدف بـرای یک ژنوتیـپ مشـخص، ارزیـابی بـرهمکنش ژنوتیـپ و محیط و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های بـاقلا بـر اسـاس میـانگین عملکرد و پایداری به‌منظور معرفی رقم مناسب و یا والد مناسـب جهـت برنامـه‌های بـه‌نژادی بـا اسـتفاده از روش GGEبای پلات بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانـه، ۱۱ لاین امیـد بخـش بـاقلا همـراه بـا چهـار رقـم فـیض، شادان، مهتا و برکت (شاهد) (جدول ۲) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان (گرم و مرطـوب)، دزفـول (گرم و خشک)، بروجرد (سـرد و خشـک) و ایرانشـهر (گرم) در قالب طرح بلوک‌های کامـل تصـادفی بـا سـه تکرار در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ کاشته شـدند. ایسـتگاه‌های انتخـابی نماینـده شـرایط محیطـی مختلـف کشـت بـاقلا در کشـور هسـتند (جـدول ۱). ژنوتیپ‌هـای G5، G7، G8، G9، G10 و G15 از مـواد ژنتیکی دریافتی از مرکز ایکاردا و سایر ژنوتیپ‌ها (G1، G2، G3، G4 و G6) از برنامـه‌های ملـی بـه‌نژادی بـاقلا کشور به‌دست آمده‌انـد. تلاقی‌هـا در سـال ۱۳۸۶ انجـام شده و دورگ‌های حاصـل بـا هـدف افـزایش عملکـرد و تحمل تنش‌های زیستی و غیر زیستی طی نسل‌های F_2 تـا F_8 بـه خلـوص رسـیده و بعـد از ارزیـابی مشـاهده‌ای و مقـدماتی مقاومـت بـه بیمـاری و عملکـرد، بـرای ارزیابی پایداری عملکرد دانه کشـت و ارزیـابی شـدند (Sheikh *et al.*, 2022b). هر کـرت شـامل شـش ردیـف کاشـت چهـار متـری بـه فواصـل ۶۰ سـانتی‌متر و فاصـله بوتـه‌ها روی ردیـف ۱۳ سـانتی‌متر بـود. کاشـت بـذر ژنوتیپ‌های باقلا در ایستگاه ایرانشهر در نیمـه اول مهـر، در ایستگاه دزفـول در نیمـه دوم مهـر و در ایسـتگاه‌های گرگان و بروجرد در نیمه دوم آبـان انجـام شـد. وجـین علف‌های هرز بر اساس سه تا چهار بار به‌صورت دسـتی انجام شد. در ایستگاه‌های ایرانشهر و دزفـول بـر حسـب نیاز ۵ تا ۷ نوبـت و در ایسـتگاه بروجـرد یـک نوبـت در زمان پر شدن غلاف‌هـا آبیـاری انجـام شـد. در ایسـتگاه گرگان کشت به صورت دیم انجام شـد. در طـول دوره رشـد در مـوارد شـیوع آفـت شـته سـیاه بـاقلا، از سـم حشـره‌کش پریمیکـارب بـه میـزان نـیم لیتـر در هکتـار استفاده شـد. در طول فصـل صـفات تعـداد روز تـا ۵۰ درصد گلـدهی، ارتفـاع بوتـه، تعـداد غـلاف در بوتـه و تعداد دانه در غلاف ثبت شدند. برداشت محصـول دانـه در ایرانشهر در دهه آخـر اسـفند، در دزفـول در اواسـط فروردین، در گرگان در اواخر اردیبهشت و در بروجـرد در اواخر خرداد انجام شد. برای محاسـبه عملکـرد دانـه، برداشت از چهار ردیف میانی و با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیـف انجـام شـده و عملکـرد دانـه و وزن

صد دانه توزین و ثبت شدند.

جهت تجزیه داده‌ها ابتدا آزمون نرمال بودن باقی مانده با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف و با استفاده از نرم‌افزار SPSS19 انجام شد. برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با فرض ثابت بودن ژنوتیپ‌ها و تصادفی بودن اثر محیط بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزارSAS ver 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و نرم‌افزار SAS انجام شد. تعیین ژنوتیپ‌های پرمحصول پایدار و شناسایی محیط‌های کلان، با استفاده از نرم افزار GGE بای‌پلات انجام شد. برای تجزیه پایداری به روشGGE بای‌پلات از مدل آماری زیر استفاده شد (Yan and Kang, 2003): (رابطه ۱)

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : میانگین iامین ژنوتیپ در jامین محیط، μ: میانگین کل، β_j: میانگین اثر محیط jام، λ_1 و λ_2: مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξ_{i1} و ξ_{i2}: بردارهای ویژه ژنوتیپی، η_{j1} و η_{j2}: بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij}: مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ iام در محیط jام هستند.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش

Table 1. Geographical coordinates and climatic information of the experiment sites

Location	مکان	ارتفاع Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی longitude	بارندگی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ rainfall 2016-2017 (mm)	بارندگی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ rainfall 2017-2018 (mm)	میانگین دمای سالیانه Average annual temperature (ºC)
Gorgan	گرگان	5	36º54´N	54º25´E	420	480	18.6
Dezful	دزفول	83	32º20´N	48º30´E	275	310	23.1
Broujerd	بروجرد	1520	33º89´N	48º76´E	340	390	14.6
Iranshahr	ایرانشهر	591	27º15´N	60º40´E	104	121	26.5

جدول ۲- نام، کد، منشاء و شجره ژنوتیپ‌های باقلای مورد ارزیابی

Table 2. Name, code, origin and pedigree of faba bean genotypes used in the experiment

ژنوتیپ‌های باقلا Faba bean genotypes	نام Entry name	منشاء Origin	شجره Pedigree
G1	G-Faba-515	Gorgan	Barkat×ILB 1814
G2	G-Faba-522	Gorgan	Barkat×ILB 5284
G3	G-Faba-523	Gorgan	Barkat×ILB 4720
G4	G-Faba-521	Gorgan	Barkat×Giza Blanka
G5	Giza 717	ICARDA	503/453/83×ILB938
G6	3111N	Gorgan	Barkat×New mammoth
G7	Flip11-090-FB	ICARDA	F8/7119/06/HBP/DSO/2000
G8	Flip12-027	ICARDA	Fam.54-A
G9	Aquadolce	ICARDA	ILB1266
G10	line 1/46	ICARDA	HBP/SOE/99
G11 (check)	Barekat	Gorgan	ILB1269
G12 (check)	Feyz	Gorgan	ILB3621
G13 (check)	Shadan	Gorgan	Latt338/08
G14 (check)	Mahta	Gorgan	WRB2-5
G15	ILB365	ICARDA	Rebaya 40

نتایج و بحث

با توجه به نتایج محاسبه واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مختلف که به‌منظور تایید یکنواختی انجام شد و با توجه به آماره کای‌دو ($X^2df=7=10.51^{ns}$)، فرض یکنواختی واریانس خطای آزمایشی تایید شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب بر اساس داده‌های هشت محیط برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. این نتایج نشان‌دهنده تنوع بین ژنوتیپ‌های باقلا بود. معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز نشان دهنده تظاهر متفاوت ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف است.

برهمکنش ژنوتیپ و محیط نشان داد که محیط بخش عمده تغییرات عملکرد را توجیه می‌کند. در پژوهش حاضر واریانس محیط ۶۰/۰۷ درصد، واریانس بین ژنوتیپ‌ها ۱۹/۸ درصد و برهمکنش ژنوتیپ و محیط ۲۰/۰۷ درصد از تغییرات کل واریانس داده‌ها برای صفت عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج سایر تحقیقات روی باقلا نیز نشان داد که تغییرات محیطی بخش عمده واریانس را تشکیل می‌دهد (Tolessa *et al.*, 2019; Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021b). به‌طور کلی در کلیه آزمایش‌های منطقه‌ای محیط پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نسبتاً کوچک هستند (Yan and Kang, 2003). بزرگی اثر محیط نشان دهنده تنوع محیط‌ها است و این موضوع به علت تفاوت اقلیم، حداقل و حداکثر دمای هوا و خاک، تفاوت دمایی شب و روز، میزان بارندگی و پراکنش آن، اسیدیته خاک، خصوصیات خاک، طول و عرض جغرافیای و ارتفاع از سطح دریا در محیط‌های مورد بررسی می‌باشد (جدول ۱). در آزمایش حاضر برهمکنش ژنوتیپ و محیط و تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا از محیطی به محیط دیگر معنی‌دار بود. دامنه تغییرات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا از ۱۱۰۸ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G15 (Rebaya40) در ایرانشهر تا ۴۴۶۲ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G3 (Barkat × ILB 4720) در گرگان متغیر بود (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط برش‌دهی انجام شد تا در هر محیط بهترین ژنوتیپ شناسایی شود (جدول ۳). کمترین و بیشترین عملکرد دانه بر اساس میانگین دو ساله در چهار ایستگاه مربوط به ژنوتیپ‌های G15 (Rebaya40) و G6 (Barkat × New mammoth) (به‌ترتیب ۱۳۶۷/۵ و ۲۹۰۵/۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). براساس میانگین عملکرد دانه، کلیه ژنوتیپ‌های باقلا به جز ژنوتیپ‌های G15 و G5 نسبت به ارقام شاهد برتری داشتند. در ایستگاه‌های دزفول و ایرانشهر عملکرد دانه کمتر از میانگین بود. طول فصل رشد کوتاه، میانگین دمای بالا و تنش گرما در مرحله تشکیل دانه‌ها، دلایل احتمالی کاهش عملکرد دانه در این دو ایستگاه هستند (جدول ۱).

تفاوت بین ژنوتیپ‌های باقلا از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). در نتایج سایر تحقیقات نیز تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های باقلا گزارش شده است (Sheikh *et al.*, 2022b). صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه معیارهایی مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه در برنامه اصلاحی باقلا هستند و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس این صفات باعث افزایش عملکرد خواهد شد (Sheikh *et al.*, 2022b). ارتباط مثبت بین صفات تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و ارتفاع بوته با عملکرد دانه وجود دارد (Singh *et al.*, 2019; Sheikh *et al.*, 2022b). متفاوت بودن عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف و وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط نشان می‌دهد که پایداری عملکرد، سهم زیادی در عملکرد دانه داشته و باعث جابجا شدن ترتیب

جدول ۳- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

Table 3. Analysis of variance and mean comparison of seed yield (kg.ha^{-1}) of faba bean genotypes at eight environments

منابع تغییر SOV		محیط اول E1	محیط دوم E2	محیط سوم E3	محیط چهارم E4	محیط پنجم E5	محیط ششم E6	محیط هفتم E7	محیط هشتم E8
MSG	میانگین مربعات ژنوتیپ	1019451.2**	199343.6**	817827.6**	1342919.7**	1197845.9**	180227.8**	952941.0**	1567388.2**
MSE	میانگین مربعات خطا	32823	11111	16827	20365	17714	12527	19001	15284
CV (%)	ضریب تغییرات	5.7	7.09	6.09	6.72	3.83	7.55	5.67	6.09
Faba bean genotypes	ژنوتیپ‌های باقلا								
G1		2853	1693	2240	2064	3747	1593	2769	2270
G2		3296	1544	2425	2222	3686	1920	2578	2193
G3		3107	1483	2113	2204	4462	1702	2317	1885
G4		3037	1888	2098	2253	3985	1648	2605	2442
G5		2720	1747	1872	1914	2618	1744	2001	1956
G6		3363	1357	3124	3247	3905	1673	3323	3250
G7		3097	1669	2509	3083	2701	1865	2938	2992
G8		2835	1394	2007	3073	3041	1590	2441	2798
G9		3294	1606	3038	2250	3284	1578	3136	2229
G10		4153	1418	2221	2397	4235	1585	2832	2878
G11		3122	1265	1712	1134	3297	1231	1571	1210
G12		4209	1843	1611	2025	4030	1343	1991	1919
G13		3695	1203	1549	1274	3662	1307	2081	1253
G14		3085	1171	2218	1587	3146	1212	2542	1497
G15		1786	1016	1192	1108	2277	1105	1288	1367
Mean	میانگین	3177	1487	2129	2123	3472	1540	2428	2127
$LSD_{0.05}$	حداقل اختلاف معنی‌دار	303.1	176.3	216.9	238.6	222.6	194.5	230.5	216.9

E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: ایرانشهر ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۹-۹۸، E6: دزفول ۹۹-۹۸، E7: بروجرد ۹۹-۹۸، E8: ایرانشهر ۹۹-۹۸

E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات زراعی ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

Table 4. Mean comparison of agronomic traits of faba bean genotypes at eight environments

ژنوتیپ‌های باقلا Faba bean genotypes	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته No. Branches	تعداد غلاف در بوته No. pod.plant^{-1}	تعداد دانه در غلاف No. seed.pod^{-1}	وزن صد دانه 100 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
G1	108	5	13	4	122	2404
G2	110	5	13	4	122	2483
G3	110	5	15	3	114	2409
G4	107	5	15	3	116	2494
G5	104	5	15	3	105	2072
G6	117	6	14	4	126	2905
G7	112	6	17	4	105	2607
G8	115	6	15	4	103	2397
G9	109	6	16	4	105	2552
G10	110	6	18	4	106	2715
G11	113	5	11	4	123	1815
G12	104	5	8	5	124	2372
G13	115	5	16	3	113	2003
G14	110	6	16	3	102	2057
G15	109	6	14	3	79	1254
$LSD_{0.05}$	4.39	0.5	0.58	0.10	3.1	76.9

جایگاه ژنوتیپ‌های باقلا در محیط‌های مختلف می‌شود، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌ها بر پایه عملکرد آن‌ها در یک مکان نمی‌تواند دقیق باشد و برای توصیه یک ژنوتیپ مناسب باید ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چندین سال و مکان انجام شود و ژنوتیپ‌های برتر براساس پایداری عملکرد شناسایی شوند (Tolessa *et al.*, 2019; Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2022a). عدم توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط باعث کاهش کارایی گزینش ژنتیکی و بهره‌مندی به‌نژادی می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهشگران از روش GGEبای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار باقلا استفاده کرده‌اند (Temesgen *et al.*, 2015; Tolessa *et al.*, 2019; Tadele *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021a; Sheikh *et al.*, 2022a).

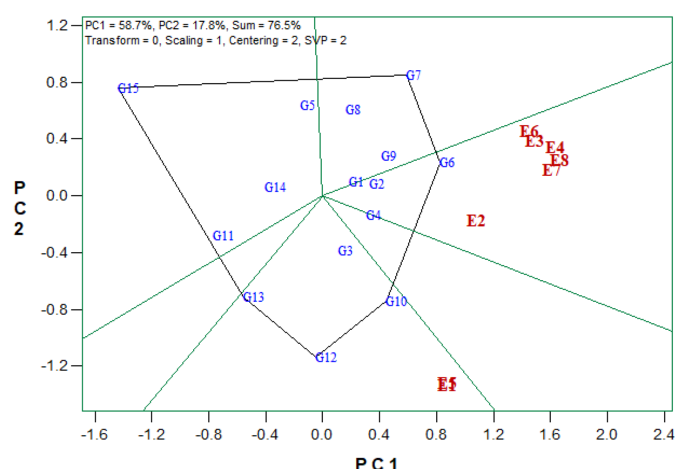
براساس مدل GEI، ۵۸/۷ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی اول و ۱۷/۸ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه اصلی دوم بود که در مجموع ۷۶/۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند (شکل ۱). نمودار چندضلعی از بهم پیوستن دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات ایجاد می‌شود و برخی اط ژنوتیپ‌ها در رأس و برخی دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند (Yan and Kang, 2003). چندضلعی با خطوطی عمود بر ضلع‌ها به بخش‌هایی تقسیم می‌شود. دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای‌پلات، بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ در برخی یا تمام محیط‌ها هستند، به‌طوری‌که در هر بخش بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپ قرار گرفته در رأس آن بخش برای محیط‌های واقع در آن است (Yan *et al.*, 2000). ژنوتیپ‌های G10، G6، G7، G15 و G12 که در رأس چند ضلعی قرار دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. به‌علاوه سه محیط کلان نیز شناسایی شدند. محیط کلان اول شامل دو محیط E1 (گرگان ۹۸-۹۷) و E2 (گرگان ۹۹-۹۸) بود که ژنوتیپ G10 (line 1/46) و ارقام شاهد فیض (G12) و شادان (G13) ژنوتیپ‌های برتر و ژنوتیپ G3 (Barkat×ILB 472)، با این محیط سازگار بودند (شکل ۱). محیط کلان دوم شامل محیط‌های E3، E4، E6، E7 و E8 (دزفول ۹۸-۹۷؛ بروجرد ۹۸-۹۷؛ ایرانشهر ۹۸-۹۷؛ دزفول ۹۹-۹۸؛ بروجرد ۹۹-۹۸؛ ایرانشهر ۹۹-۹۸) بودند و ژنوتیپ G6

(Barkat×New mammoth)، به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط‌ها شناسایی شد. ژنوتیپ‌های G1، G2 و G4 ژنوتیپ‌های سازگار با این محیط بودند. در چندضلعی بای‌پلات بر پایه نزدیکی ژنوتیپ‌های G1، G3، G4 و G14 به مبدأ بای‌پلات، آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی شناسایی شد. ژنوتیپ‌های G15 و G7 در هیچ‌یک از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عدم سازگاری آن‌ها در کلیه محیط‌های آزمایشی است.

براساس مدل GGE (G + GEI) در تجزیه بای‌پلات نیز ژنوتیپ‌های دارای پایداری بالا شناسایی شدند (شکل ۲). ژنوتیپ‌هایی که در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارند، در کلیه محیط‌ها بالاترین عملکرد را داشته و مطلقاً پایدار بوده و ژنوتیپ مطلوب محسوب می‌شوند. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری است (Yan *et al.*, 2000). ژنوتیپ‌هایی که فاصله کمتری از ژنوتیپ مطلوب دارند، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار هستند. ژنوتیپ G6 و G10 در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار داشته و پایدار محسوب می‌شوند (شکل ۲). پس از آن ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G4 و G9 که به ژنوتیپ مطلوب نزدیک‌تر بودند قرار داشتند. برای تعیین ژنوتیپ مطلوب دو معیار پایداری و عملکرد بالا مورد نظر هستند، بنابراین ژنوتیپی مطلوب است ک ه دارای حداکثر عملکرد و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزیکترین فاصله را با ژنوتیپ مطلوب داشته باشد در رتبه‌های بعدی مطلوبیت قرار دارد (Yan and Kang, 2003). در پژوهش حاضر با توجه به اینکه ژنوتیپ‌هایG6 ، G10، G1، G2، G3، G4 و G9 دارای عملکرد بالا و پایداری متوسط به بالا هستند، در درجه اول قابل توصیه برای کشت در طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی هستند و در درجه دوم می‌توان از آن‌ها به‌عنوان والد دهنده در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در گیاه باقلا استفاده کرد. ژنوتیپ‌های G7، G8 و G12 در رتبه سوم و ژنوتیپ‌های G5، G11، G13، G14 و G15 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. فایرو و همکاران (Firew *et al.*, 2019) از روش GGE بای‌پلات برای مقایسه ارقام لوبیا سفید با رقم مطلوب استفاده کردند. غفار و همکاران (Ghaffar *et al.*, 2023) نیز با استفاده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات از بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه در هفت محیط، ژنوتیپ G6 را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب با عملکرد پایدار و چهار ژنوتیپ G2، G4، G5 و G7 را به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب معرفی کردند. ارزیابی پایداری عملکرد در شرایط شیوع بیماری برق‌زدگی (Erdemci *et al.*, 2023) و لکه‌شکلاتی (Tekalign *et al.*, 2017)، به‌ترتیب در نخود و باقلا، با استفاده از روشGGE بای‌پلات مورد ارزیابی قرار دادند. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط شیوع بیماری مطلوب شناخته شوند، ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش محسوب می‌شوند.

برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های آزمایشی از نمودار بای‌پلات که در آن محیط‌ها توسط بردارهایی به مبدأ وصل می‌شوند، استفاده شد (شکل ۳). کوسینوس زاویه بین دو بردار محیطی به‌عنوان ضریب همبستگی بین محیط‌ها شناخته می‌شود (Yan and Kang, 2003). ارتباط مثبت نزدیک بین محیط‌های آزمایش نشان می‌دهد که اطلاعات مشابه در مورد ژنوتیپ‌ها می‌تواند از محیط های آزمایشی کمتری به‌دست آید، بنابراین می‌توان آزمایشات را در یکی از آن محیط‌ها انجام داد تا هزینه ارزیابی ژرم‌پلاسم کاهش و کارآیی اصلاح افزایش یابد (Azon *et al.*, 2023). طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد که این انحراف، توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Yan and Kang, 2003). بررسی بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان دهنده قدرت تمایز بالای محیط گرگان در دو سال آزمایش (E1 و E5) و زاویه حاده بین دو محیط نشان‌دهنده همبستگی بالا بود. این دو محیط بیشترین

طول بردار و بیشترین قدرت تمایز را داشتند و بعد از آن محیط‌های E3، E4، E6، E7 و E8 قرار داشتند. از بین محیط‌های آزمایش، محیط گرگان توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته و مکان مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر باقلا شناخته شد. محیط E2 (دزفول سال ۱۳۹۷-۹۸) کمترین طول بردار را داشت. بر این اساس این محیط قدرت تمایز بالایی برای ژنوتیپ‌های باقلا نداشته و اجرای آزمایش در این محیط توصیه نمی‌شود.

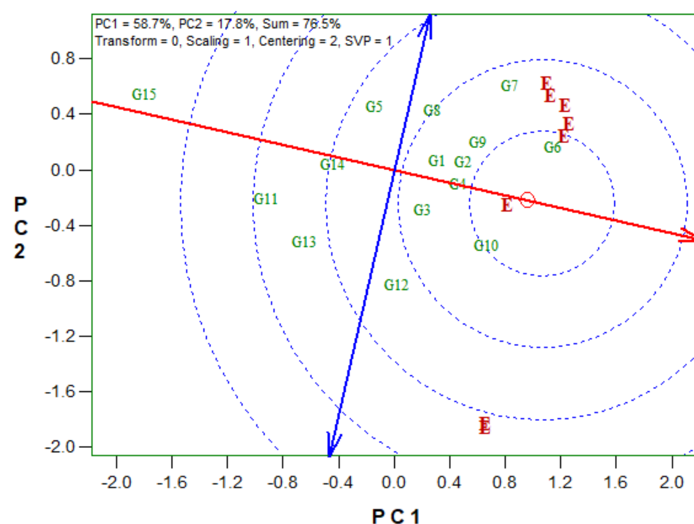


شکل ۱- چندضلعی GGE بای‌پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا در هشت محیط

Fig. 1. Polygon view of the GGE-Biplot based on seed yield data of faba bean genotypes across eight environments

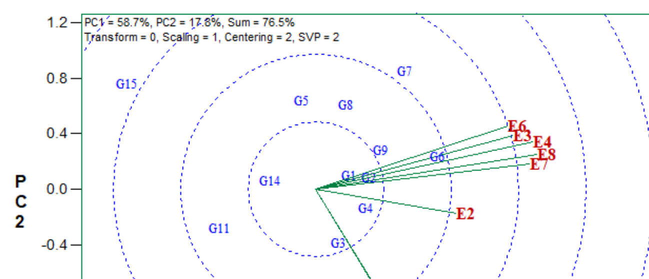
E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: ایرانشهر ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۹-۹۸، E6: دزفول ۹۹-۹۸، E7: بروجرد ۹۹-۹۸، E8: ایرانشهر ۹۹-۹۸

E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021



شکل ۲- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب

Fig. 2. Biplot view to compare faba bean genotypes with the ideal genotype



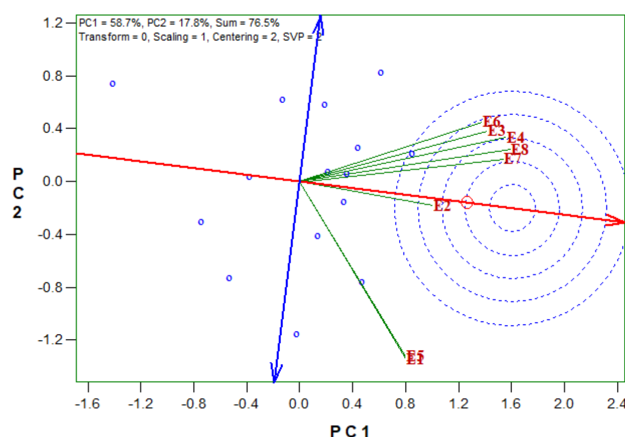
شکل ۳- بای‌پلات بررسی روابط بین محیط‌های آزمایشی

Fig. 3. Biplot view for the relationships among the experiment environments

E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: ایرانشهر ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۹-۹۸، E6: دزفول ۹۹-۹۸، E7: بروجرد ۹۹-۹۸، E8: ایرانشهر ۹۹-۹۸

E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021

بای‌پلات GGE محیط‌ها را از طریق بردارهایی به مبدا بای‌پلات وصل می‌کند. هر محیطی که کمترین زاویه را با بردار افقی داشته باشد، به محیط مطلوب نزدیک‌تر و به‌عنوان محیط نماینده محسوب خواهد شد. بنابراین محیط‌های نزدیک به محیط مطلوب و دارای طول بردار بلندتر، توانایی تمایز و قدرت نمایندگی بیشتری دارند. براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۴، محیط E2 کمترین فاصله را با محیط مطلوب دارد. محیط‌های E1 و E5 با داشتن طول بردار بلندتر از قدرت تمایز بالاتری نسبت به سایر محیط‌ها برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها برای تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های پایدار از ژنوتیپ‌های ناپایدار استفاده کرد.

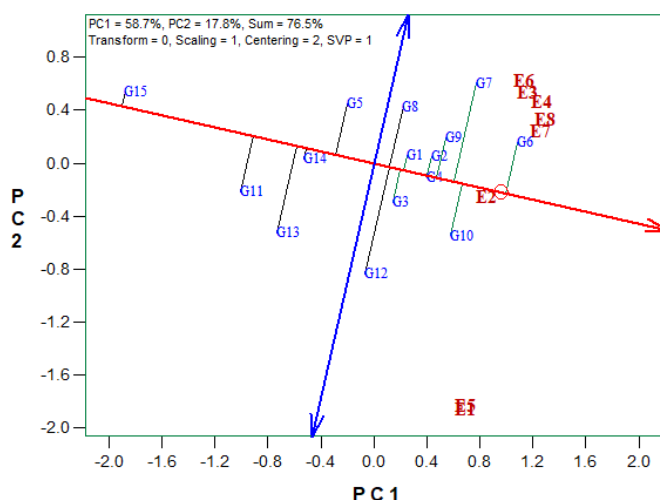


شکل ۴- تعیین محیط مطلوب با استفاده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات

Fig. 4. Determining the ideal environment using the GGE-biplot graphic method

از نمودار AEC (Average Environment Coordinate) جهت بررسی همزمان پایداری و عملکرد

استفاده می‌شود. در این نمودار محور افقی نشان‌دهنده عملکـرد ژنوتیپ‌هـا و محـور عمـودی بـرآوردی از برهمکنش ژنوتیپ و محیط است. فاصله کمتر از محور افقی نشانگر پایداری ژنوتیپ است (Rezene, 2019). براساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۵ ژنوتیپ‌های G6، G7 و G10 بیشترین عملکـرد و ژنوتیپ G15 کمترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G4 و G9 به دلیل اینکه کمترین فاصله را با محور افقی داشتند، دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی بوده و دارای بیشترین پایداری محسوب می‌شوند.



شکل ۵- مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا با ژنوتیپ مطلوب بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

Fig. 5. Comparison of promising genotypes of faba bean with ideal genotype based on seed yield and stability

E1: گرگان ۹۸-۹۷، E2: دزفول ۹۸-۹۷، E3: بروجرد ۹۸-۹۷، E4: ایرانشهر ۹۸-۹۷، E5: گرگان ۹۹-۹۸، E6: دزفول ۹۹-۹۸، E7: بروجرد ۹۹-۹۸، E8: ایرانشهر ۹۹-۹۸

E1: Gorgan-2019-2020; E2: Dezful-2019-2020; E3: Broujerd-2019-2020; E4: Iranshahr-2019-2020; E5: Gorgan-2020-1021; E6: Dezful-2020-2021; E7: Broujerd-2020-2021; E8: Iranshahr-2020-2021

نتیجه‌گیری

در آزمایس حاضر براساس نتایج تجزیه واریانس، محیط ۶۰/۰۷ درصد از مجموع مربعات تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نشان دهنده حساسیت بالای عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا به تغییرات محیط است. ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌ترتیب ۱۹/۸ و ۲۰/۰۷ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. واکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا به محیط‌های مختلف متفاوت بود. در صورتی که عوامل محیطی مانند اثر سال و تغییرات آب و هوایی باعث ایجاد برهمکنش ژنوتیپ و محیط شوند، الگوهای پیش‌بینی ژنوتیپ مختص هر محیط در همه سال‌ها تکرار پذیر نخواهد بود، بنابراین باید با انتخاب ژنوتیپ پایدار و پرمحصول، به حداکثر تولید محصول دست یافت. در این تحقیق ژنوتیپ‌های G6، G10، G9، G2 و G4 در نمودارهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر پایداری، از عملکرد دانه بیشتری نیز برخوردار بودند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود توأم سازگاری و عملکرد در باقلا استفاده کرد. وجود ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالاتر از ارقام شاهد، نشان‌دهنده بهبود ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی باقلا کشور است. در آزمایش حاضر، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشت و به‌عنوان مکان آزمایش مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد. براساس نتایج مقایسه عملکرد دانه و ارزیابی

سازگاری، ژنوتیپ‌های باقلا به تفکیک انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های G3 (Barkat×ILB4720) و G10 (HBP/SOE/99) برای گرگان و مناطق دارای اقلیم مشابه مناسب شناخته شدند. ژنوتیپ‌های G2 (Barkat×ILB5284) و G7 (Flip11-090FB) برای دزفول مناسب شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها از سازگاری خصوصی بالایی برخوردار بودند. در استان‌های جنوبی علیرغم عملکرد کمتر، به علت عرضه خارج از فصل و ارزش اقتصادی بالاتر، زراعت باقلا با استقبال خوبی از سوی کشاورزان مواجه می‌شود. شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی برای این شرایط با قابلیت تولید بالاتر از میانگین ارقام شاهد، کمک زیادی به افزایش درآمد کشاورزان خواهد کرد. ژنوتیپ‌های G6 (Barkat×New mammoth) و G9 (ILB1266) برای کاشت در بروجرد و ایرانشهر مناسب شناخته شدند. ژنوتیپ G9 با شجره ILB1266 در سال ۲۰۱۶ با نام تجاری Aquadolce در فرانسه و اسپانیا عرضه شده است. ژنوتیپ‌های یاد شده را می‌توان پس از ارزیابی در قالب پروژه تحقیقی ترویجی به‌عنوان رقم تجاری برای مناطق فوق و یا اقلیم‌های مشابه توصیه نمود. این ژنوتیپ‌ها قابلیت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود همزمان سازگاری و عملکرد باقلا را دارند.

سپاسگزاری

نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۹۷۱۲۵۱ -۲۸۱-۰۳-۵۷-۰، سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از همکاران مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه که در اجرای این پژوهش با مجریان همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Arif, A., Parveen, N., Waheed, M.Q., Atif, R.M., Waqar, I. and Shah, T.M. 2021. A comparative study for assessing the drought-tolerance of chickpea under varying natural growth environments. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp.22-28. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607869

Azon, C.F., Hotegni, V.N.F., Sogbohossou, D.E.O., Gnanglè, L.S., Bodjrenou, G., Adjé, C.O., Dossa, K.O., Agbangla, C., Florent J.B.Q. and Achigan-Dako., E.G. 2023. Genotype×environment interaction and stability analysis for seed yield and yield components in sesame (Sesamum indicum L.) in Benin Republic using AMMI, GGE biplot and MTSI, Heliyon, 9(11), pp.13-19. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21656

Bangar, S.P. and Kajla, P. 2022. Introduction: Global Status and Production of Faba Bean. *In:* Punia Bangar, S. and Bala Dhull, S. (Eds) Faba Bean: Chemistry, Properties and Functionality. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2_1

Ehyaei, M., Mostafavi, K., Bakhtiar, F. and Mohammadi, A. 2022. Yield stability of bread wheat genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. CEREAL RESEARCH, 12(2), pp.147-165. [In Persian]. https://doi: 10.22124/cr.2023.23333.1746

Enyew, M., Feyissa, T., Geleta, M., Tesfaye, K., Hammenhag, C. and Carlsson, A.S. 2021. Genotype by environment interaction, correlation, AMMI, GGE biplot and cluster analysis for grain yield and other

agronomic traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plos One*, 16(10), e0258211. https://doi: 10.1371/journal.pone.0258211

Erdemci, İ., Yaşar, M. and Koc, M. 2023. Assignment of resistance stability of chickpea genotypes tested in multi-environments against ascochyta blight using GGE biplot analysis. *European Journal of Plant Pathology*, 167, pp.123–132. https://doi.org/10.1007/s10658-023-02688-x

FAO. 2017. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: www.fao.org/faostat/ [accessed June 11, 2017].

Firew, A.M., Amsalu, B. and Tsegaye, D. 2019. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of large white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes across environments in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 14(35), pp.2135-2145. https://doi: 10.5897/Ajar2019.14180

Ghaffar, M., Asghar, M.J. and Shahid, M. 2023. Estimation of G × E interaction of lentil genotypes for yield using AMMI and GGE biplot in Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, pp.2316–2330. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01182-x

Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Kantas, D. and Ipsilandis, C.G. 2023. Genotype-by-environment interaction analysis for quantity and quality traits in faba beans using AMMI, GGE models, and stability indices. *Plants*, 12, 3769. https://doi.org/10.3390/plants12213769

Khan, M.M.H., Rafii, M.Y., Ramlee, S.I., Jusoh, M. and Mamun, A.M. 2021. AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). *Scientific Reports*, 11, 22791. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01411-2

Minguez, M.I. and Rubiales D. 2021. Faba bean. *In:* Sadras V.O. *et al.* (Eds.) Crop Physiology Case Histories for Major Crops. Academic Press, Amsterdam. The Netherlands. https://doi.org/10.1016/B978-0-12- 819194-1.00015-3

Mohammadi, R., Jafarzadeh, J., Poursiahbidi, M.M. and Hatamzadeh, H. 2023. Genotype-by-environment interaction and stability analysis for grain yield in durum wheat using GGE biplot and genotypic and environmental covariates. *Agricultural Research*, 12, pp.364–374. https://doi.org/10.1007/s40003-023-00661-y

Rezene, Y. 2019. GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern Ethiopia. *Journal of Plant Studies*, 8, 35. https://doi.10.5539/jps.v8n1p35

Saeidnia, F., Taherian, M. and Nazeri, S.M. 2023. Graphical analysis of multi-environmental trials for wheat grain yield based on GGE-biplot analysis under diverse sowing dates. *BMC Plant Biol*ogy, 23, pp.198-213. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04197-9

Sheikh, F., Nazari, H., and Fanaei, H. 2022a. Graphic analysis of trait relations and stability of faba bean

genotypes using the biplot method. *Journal of Crop Production*, 15(2), pp.117-135. [In Persian]. https://doi: 10.22069/ejcp.2022.19563.2457

Sheikh, F., Sekhavat, R., Asteraki, H., Parkasi, A., and Aghajani, M.A. 2021a. Evaluation of seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes using GGE biplot analysis. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3), pp.85-99. [In Persian]. https://doi:10.47176/jcpp.11.3.36412

Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R. 2021b. Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), pp.125-144. [In Persian]. https://doi:10.22069/EJCP.2022.18908.2411

Sheikh. F., Sekhavat. R. and Aghajani, M. 2022b. Evaluation of resistance to leaf spot diseases and yield characteristics in faba bean genotypes through cluster analysis and Genotype by Trait Biplot. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), pp.131-147. [In Persian]. https://doi:10.52547/jcb.14.44.131

Singh, C., Gupta, A., Gupta, V., Kumar, P., Sendhil, R., Tyagi, B.S. Singh, G., Chatrath, R. and Singh, G.P. 2019. Genotype×environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19, pp.309-318. https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a43

Tadele, M., Mohammed, W. and Jarso, M. 2020. Yield stability and genotype × environment interaction of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 7(2), pp.833-846. https://doi.org/10.1002/agj2.21268

Tekalign, A., Sibiya, J., Derera, J. and Fikre, A. 2017. Analysis of genotype × environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). *Australian Journal of Crop Science*, 11(10), pp.1228-1235. https://doi.10.21475/ajcs.17.11.10.pne413

Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. and Jarso, M. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), pp.258-268. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.004

Tolessa, T.T., Keneni, G., Mohammed, H. and Ahmed, S.K. 2019. Decades of faba bean (*Vicia faba* L.) breeding for better grain yield and seed size has inadvertently reduced G × E interaction and increased inter-temporal performance stability. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22, pp.265–274. https://doi. 10.1007/s12892-019-0071-0

Tolessa, T., Gemechu, K., Tadesse, G., Jarso, M. and Bekele, Y. 2013. Genotype × environment interaction and performance stability for grain yield in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *International Journal of Plant Breeding*, 7, pp.116-123. https://doi.org/10.1002/agj2.21268

Xiao, J.X., Zhu, Y.A., Bai, W.L., Liu, Z.Y., Li, T.A.N. G. and Zheng, Y. 2021. Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11), pp.3012–3025. https://doi. 10.1016/S2095-3119(20)63489-X

Yan, W. 2016. Analysis and handling of G×E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56, pp.2106-2118. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0336

Yan, W. and Kang, M.S. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists, CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, USA.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q. and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, pp.597-605. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x